

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 Date of Application: 2003年 5月30日

出願番号 Application Number: 特願2003-153681

[ST. 10/C]: [JP2003-153681]

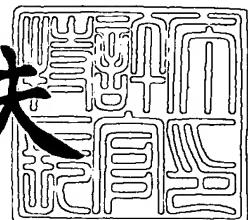
出願人 Applicant(s): 株式会社日立製作所

Mattingly, Stanger & Malur  
Inventor: T. KOGANEZAWA et al  
Filed: June 25, 2003  
Serial No.: 10/602,686

2003年 7月11日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 1102016951  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 F02C 1/00  
【発明の名称】 ガスタービンとガスタービンの製造方法及びその改造方  
法  
【請求項の数】 7  
【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号  
株式会社 日立製作所 電力・電機開発研究所内  
【氏名】 圓島 信也  
【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号  
株式会社 日立製作所 電力・電機開発研究所内  
【氏名】 樋口 真一  
【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号  
株式会社 日立製作所 電力・電機開発研究所内  
【氏名】 木塚 宣明  
【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号  
株式会社 日立製作所 電力・電機開発研究所内  
【氏名】 秋山 陵  
【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号  
株式会社 日立製作所 電力・電機開発研究所内  
【氏名】 野田 雅美

**【特許出願人】****【識別番号】** 000005108**【氏名又は名称】** 株式会社 日立製作所**【代理人】****【識別番号】** 100075096**【弁理士】****【氏名又は名称】** 作田 康夫**【電話番号】** 03-3212-1111**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 013088**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【ブルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ガスタービンとガスタービンの製造方法及びその改造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

大気空気を圧縮し圧縮空気を生成する圧縮機と、該圧縮空気と燃料とを混合燃焼させ燃焼ガスを生成する燃焼器と、該燃焼ガスにより駆動するタービンとを備え、該圧縮機、該燃焼器、及び該タービンを設計する際に必要な複数の設計要素で構成されるガスタービンの製造方法であって、

前記ガスタービンの設計要素の中から各種発電サイクルに共通して用いる共通要素を設計し、製造するガスタービンの発電サイクルに前記共通要素を適合させるようガスタービンを設計することを特徴とする、ガスタービンの製造方法。

【請求項 2】

大気空気を圧縮し圧縮空気を生成する圧縮機と、該圧縮空気と燃料とを混合燃焼させ燃焼ガスを生成する燃焼器と、該燃焼ガスにより駆動するタービンとを備え、該圧縮機、該燃焼器、及び該タービンを設計する際に必要な複数の設計要素で構成されるガスタービンの製造方法であって、

前記ガスタービンの設計要素は、該設計要素を設計する際に必要なパラメータを有し、

前記ガスタービンの設計要素の中で、各種発電サイクルに共通して用いる共通要素が有するパラメータの値を各種発電サイクルの設計条件より設定し、該パラメータの設定値によって該共通要素を設計する第一の工程と、

製造するガスタービンの発電サイクルに前記設計された共通要素を適合させるようガスタービンを設計し、ガスタービンを製造する第二の工程と、  
を備えたことを特徴とする、ガスタービンの製造方法。

【請求項 3】

大気空気を圧縮し圧縮空気を生成する圧縮機と、該圧縮空気と燃料とを混合燃焼させ燃焼ガスを生成する燃焼器と、該燃焼ガスにより駆動するタービンとを備え、該圧縮機、該燃焼器、及び該タービンを設計する際に必要な複数の設計要素で構成されるガスタービンの製造方法であって、

前記ガスタービンの設計要素は、該設計要素を設計する際に必要なパラメータを有し、

前記ガスタービンの設計要素の中で、各種発電サイクルに共通して用いる共通要素が有するパラメータの値を各種発電サイクルの設計条件より設定し、該パラメータの設定値によって該共通要素を設計する第一の工程と、

所望の発電サイクルに前記設計された共通要素を適合させるようガスタービンを設計する第二の工程と、

前記所望の発電サイクルと異なる発電サイクルに共通要素を適合させるよう前記設計されたガスタービンを設計変更し、ガスタービンを製造する第三の工程と

、  
を備えたことを特徴とする、ガスタービンの製造方法。

#### 【請求項 4】

大気空気を圧縮し圧縮空気を生成する圧縮機と、該圧縮空気と燃料とを混合燃焼させ燃焼ガスを生成する燃焼器と、該燃焼ガスにより駆動するタービンとを備え、該圧縮機、該燃焼器、及び該タービンを設計する際に必要な複数の設計要素で構成されるガスタービンであって、

前記ガスタービンの設計要素の中に各種発電サイクルに共通して用いる共通要素を有し、前記ガスタービンを設計する際に、該共通要素は製造するガスタービンの発電サイクルに適合化されることを特徴とする、ガスタービン。

#### 【請求項 5】

大気空気を圧縮し圧縮空気を生成する圧縮機と、該圧縮空気と燃料とを混合燃焼させ燃焼ガスを生成する燃焼器と、該燃焼ガスにより駆動するタービンとを備え、燃焼温度及び圧力比の少なくとも一方を設定することで設計する共通要素を有するガスタービンであって、

製造するガスタービンの発電サイクルにおける燃焼温度及び圧力比と、前記共通要素を設計した時に利用した燃焼温度及び圧力比の少なくとも一方とが異なる共通要素を有することを特徴とする、ガスタービン。

#### 【請求項 6】

大気空気を圧縮し圧縮空気を生成する圧縮機と、該圧縮空気と燃料とを混合燃

焼させ燃焼ガスを生成する燃焼器と、該燃焼ガスにより駆動するタービンとを備え、燃焼温度及び圧力比の少なくとも一方を設定することで設計する共通要素を有し、製造するガスタービンの発電サイクルに前記設計された共通要素を適合させるよう設計し、製造されたガスタービンの改造方法であって、

改造するガスタービンの発電サイクルに前記共通要素を適合させるようガスタービンを設計変更することを特徴とする、ガスタービンの改造方法。

#### 【請求項 7】

大気空気を圧縮し圧縮空気を生成する圧縮機と、該圧縮空気と燃料とを混合燃焼させ燃焼ガスを生成する燃焼器と、該燃焼ガスにより駆動するタービンとを備え、燃焼温度及び圧力比の少なくとも一方を設定することで設計する共通要素を有し、製造するガスタービンの発電サイクルに前記設計された共通要素を適合させるよう設計し、製造されたガスタービンの改造方法であって、

改造されたガスタービンの発電サイクルにおける燃焼温度及び圧力比と、前記共通要素を設計した時に利用した燃焼温度及び圧力比の少なくとも一方とが異なることを特徴とする、ガスタービンの改造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、ガスタービンとガスタービンの製造方法及びその改造方法に関する。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

ガスタービンを用いた発電サイクルの主流として、シンプルサイクル、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルがある。従来、ガスタービンは、使用される発電サイクルに応じて、個別に設計されている。このため、設計された部品はその発電サイクルのガスタービン固有である。特許文献1には、異なる周波数用途で運転されるタービンのハードウェアに、共通性を持たせてコスト低減を図った技術が開示されている。

##### 【0003】

**【特許文献1】**

特開平9-4465号公報

**【0004】****【発明が解決しようとする課題】**

しかし、特許文献1に記載された技術では、ハードウェアの共通性をタービン中間段の形状に持たせており、圧縮機を考慮していなかった。そのため、シンプルサイクルガスタービンをコンバインドサイクルや湿分利用ガスタービンサイクルに転用する場合のように圧力比と燃焼温度の変更を伴う時は、圧縮機を考慮していない特許文献1に記載された技術を使用することが困難である。したがって、発電サイクルが異なるガスタービン間では、共通化された部品を使用することができず、多額の製造費用がかかった。また、異なる発電サイクルごとに一から設計・製造するため、共通化された部品を使用する場合に比べ、製造に長い時間を要した。

**【0005】**

本発明の目的は、ガスタービンの製造費用を抑制し、製造にかかる時間を短縮することである。

**【0006】****【課題を解決するための手段】**

本発明は、ガスタービンの設計要素の中から各種発電サイクルに共通して用いる共通要素を設計し、製造するガスタービンの発電サイクルに共通要素を適合させるようガスタービンを設計することを特徴とする。

**【0007】****【発明の実施の形態】**

ガスタービンを用いた発電サイクルには、シンプルサイクル、コンバインドサイクル、及び湿分利用ガスタービンサイクルがある。

**【0008】**

シンプルサイクルは、ガスタービン単体で発電し、タービンから排出される排出ガスを利用しない。

**【0009】**

一方、コンバインドサイクルは、タービンから排出される高温の排出ガスを排熱回収ボイラに供給し、排熱回収ボイラから発生した蒸気を用いて蒸気タービンを駆動する。そして、ガスタービンと蒸気タービンより発電する。

#### 【0010】

湿分利用ガスタービンサイクルは、圧縮機から排出される圧縮空気と外部から供給された水または蒸気を混合し、その混合空気をガスタービンからの排出ガスと熱交換させることで、高温高湿分空気を生成している。その高温高湿分空気を燃焼器に供給する。

#### 【0011】

なお、湿分利用ガスタービンサイクルのようにタービンから排出される高温の排出ガスによって生成する蒸気を発電に用いるのではなく、他系統で消費するコージェネレーションはシンプルサイクルと見なすことができる。

#### 【0012】

本実施例におけるガスタービンの構成を図2に示す。ガスタービンは主に、大気空気2を圧縮し圧縮空気を生成する圧縮機3、圧縮空気と燃料7とを混合燃焼させ燃焼ガス8を生成する燃焼器6、燃焼器6から供給される燃焼ガス8によって駆動するタービン9を備えている。

#### 【0013】

次に、ガスタービンの運転方法について説明する。まず、大気空気2を大気吸気部1から圧縮機3に供給する。圧縮機3で圧縮された圧縮空気は、燃焼器車室4に供給され、燃焼器車室4は圧縮空気で充満する。そして、燃焼器車室4内の圧縮空気は、2重管構造のフロースリーブ5を通過し、燃焼器6に供給される。燃焼器6では、圧縮空気と燃料7とを混合して燃焼し、高温の燃焼ガス8を生成する。燃焼器6で生成された高温の燃焼ガス8は、タービン9に供給され、タービン9内で膨張し動翼を回転駆動させる。タービン9で発生した動力は、発電機を駆動するだけでなく、圧縮機3も駆動する。

#### 【0014】

タービン9及び燃焼器6は燃焼ガス8により高温となるため、冷却が必要である。そこで、冷却方法について説明する。タービン9にある第1段動翼10、第

2段動翼11、及び第3段動翼12を冷却するために、圧縮機最終段動翼出口13から抽出された圧縮空気をロータ内部に供給する。次に、ロータ内部に導かれた圧縮空気は、ロータの中心孔からタービン軸下流方向に流れ、ホイールの側面より各動翼に供給される（図2の経路A）。なお、本実施例ではタービン軸上流を燃焼器側とし、燃焼ガスがタービン内を通過する方向をタービン軸下流方向とする。燃焼器6の冷却では、冷却空気は、燃焼器車室4からフロースリーブ5に流入する燃焼用空気14を用いる。第1段静翼15の冷却空気は、燃焼器車室4から直接流入する空気16を用いる。第2段静翼17、第3段静翼18の冷却空気は、冷却能力に適した圧力を得られる圧縮機途中段のケーシングに設けた抽気キャビティ19から配管20を通過して供給される。第1段動翼10の外周に位置する第1段シュラウド21の冷却空気は、燃焼器車室4から直接流入する空気22を用いる。第2段動翼11の外周に位置する第2段シュラウド23及び第3段動翼12の外周に位置する第3段シュラウド24の冷却空気は、配管20から導入した空気を用いる。さらに、燃焼ガス8がタービン9のガスパスを通過する際に、動翼内側のホイールスペース25に侵入しないように、ホイールスペース25に圧縮機最終段動翼出口13から抽出された圧縮空気26を供給する。また、ホイールスペース27、28、29、30には、配管20からの空気が静翼17、18内部を通過して供給する。ホイールスペース31、32には、冷却能力に適した圧力を得られる圧縮機途中段のケーシングに設けた抽気キャビティ33から配管34を通過し、更に静翼内部を通過して空気が供給される。ホイールスペース35には、後ろ側軸受け室36の空気37を供給する。

#### 【0015】

次に、ガスタービンを用いた発電サイクルである、コンバインドサイクル、湿分利用ガスタービンサイクル、及びシンプルサイクルの特性を図3、図4より説明する。

#### 【0016】

図3は、コンバインドサイクルの発電出力と発電効率の関係を示す。なお、湿分利用ガスタービンサイクルもほぼ同等の特性を示す。図3において、横軸が発電出力、縦軸が発電効率を表す。そして、圧力比を一定とした場合、燃焼温度を

変化させることで各燃焼温度に対応する発電出力と発電効率との関係を求めることができるため、図中にプロット出来る。同様に、燃焼温度を一定とし圧力比を変化させた場合にも、図中にプロットすることが出来る。

#### 【0017】

図3から、圧力比を変化させずに燃焼温度を高くすると、発電効率及び発電出力が向上することが分かる。この理由は、コンバインドサイクルでは、燃焼温度を高くすると、タービンから排出する排出ガスの温度が上昇するため、排熱回収ボイラで発生する蒸気量も増加し、蒸気温度や蒸気圧力が高くなるからである。よって、蒸気タービン出力が上昇し、コンバインドサイクルの発電効率も上昇する。湿分利用ガスタービンサイクルでは、タービンから排出される排出ガスの温度が上昇することで、圧縮機から排出される圧縮空気に水または蒸気を添加する量を増加させることが可能である。そのため、湿分利用ガスタービンサイクルの発電効率及び発電出力が向上する。

#### 【0018】

また、同じ燃焼温度で圧力比を高くすると、発電効率や発電出力は低下することが分かる。コンバインドサイクルや湿分利用ガスタービンサイクルでは、圧力比が高くなることで圧縮機動力が増加して圧縮機断熱効率が低下することと、圧縮機から排出される圧縮空気の温度が上昇しタービン高温部を冷却するための空気量が増加することが原因である。コンバインドサイクルでは更に、タービンから排出される排出ガスの温度が低下し、蒸気タービン出力が低下することも影響する。

#### 【0019】

従って、本実施例において、コンバインドサイクルと湿分利用ガスタービンサイクルの最適な設計条件を、燃焼温度を1450℃、圧力比を20(図3の点B)としている。燃焼温度を1450℃としているのは、燃焼温度をさらに高くすると発電効率は高くなるが、燃焼によるNO<sub>x</sub>が増加し、タービン高温部を冷却するための空気量が増加するため、燃焼温度は1450℃に抑えている。

#### 【0020】

図4は、シンプルサイクルの発電出力と発電効率の関係を示す。図4における

、圧力比と燃焼温度からシンプルサイクルの特性をプロットする方法は、図3と同様である。

#### 【0021】

図4より、同じ燃焼温度で圧力比を高くすると発電効率が上昇することが分かる。この理由は、圧力比を上昇させることで圧縮機動力が増加するが、それを上回るタービン出力の上昇があるためである。

#### 【0022】

また、圧力比は変化させず燃焼温度を高くすると、発電効率は徐々に低下する。この理由は、燃焼温度が高くなるとその分だけタービン9を冷却するための空気量が増加するためである。

#### 【0023】

従って、本実施例において、シンプルサイクルの最適な設計条件を、燃焼温度を1250°C、圧力比を23（図4の点C）としている。圧力比を23としているのは、圧力比を更に高くすると効率は上昇するが、大気空気2の温度が高いと、圧縮機から排出する圧縮空気の温度が500°Cを超える可能性があり、圧縮機ロータ材の強度信頼性の観点から、圧力比を23にしている。

#### 【0024】

図3、図4で示したように、高い発電効率を得るために、コンバインドサイクルや湿分利用ガスタービンサイクルでは、圧力比を高く設定する必要はないが、燃焼温度を高く設定する必要がある。一方、シンプルサイクルでは燃焼温度を高く設定する必要はないが、圧力比を高く設定する必要がある。

#### 【0025】

このような特性に応じて、従来では、圧力比30以上（高圧力比）の航空機転用ガスタービンをシンプルサイクルに用いている。しかし、航空機転用ガスタービンをコンバインドサイクルや湿分利用ガスタービンサイクルに用いると、高圧力比のためタービンからの排出ガス温度が低く、それほど発電効率が得られない問題がある。また、コンバインドサイクルは主に1300°Cから1500°Cまで燃焼温度を上げ（高温度）、圧力比は20以下（低圧力比）の陸上専用に設計された重構造ガスタービンが用いられている。これをシンプルサイクルで用いると

、圧力比が低いため、高い発電効率が得られない問題がある。また、例えば重構造ガスタービンにおいて、圧力比は変えずに単に燃料流量を少なくして燃焼温度を下げたとしても、タービン高温部を冷却するための空気量は燃焼温度が高い条件のまま多量に流れるので、図4に示すような発電効率の向上は得られない。

#### 【0026】

図3、図4の特性を踏まえると、シンプルサイクル、コンバインドサイクルと湿分利用ガスタービンサイクル、それぞれで高発電効率の得られる燃焼温度、圧力比のガスタービンを開発することが理想である。しかし、複数のガスタービンを有するのは開発費がかさみ、製造ラインの維持コストが高くなるという問題がある。また、ガスタービンの使用形態も多様化しており、今後市場拡大が予想されるガスタービンに特化するのは開発リスクが大きいという問題もある。

#### 【0027】

そこで、本実施例における、シンプルサイクル、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクル、それぞれにおいて高発電効率を得るための設計方法を図1に示す。

#### 【0028】

図1の手順1では、圧縮機や燃焼器、タービンを設計する際に必要であり、圧縮機の翼型や圧縮機のロータ、タービン翼型等のようにガスタービンを構成する複数の設計要素の中から、共通要素を選定する。なお、設計要素はパラメータを有し、パラメータの値を与えることで各設計要素を設計することが可能である。また、共通要素とは、シンプルサイクル、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルにおいて共通して用いる設計要素である。本実施例において各種発電サイクルの共通化用に設計された共通要素は、図2における圧縮機3の翼型とそのロータ、タービン9の翼型とそのロータ、及びケーシングとする。そして、各共通要素のパラメータを燃焼温度と圧力比とし、このパラメータの値を利用して各共通要素を設計することが可能である。

#### 【0029】

次に、手順2において、手順1で選定された共通要素の設計を行う。共通要素を設計する場合、パラメータの値を設定する必要がある。そこで、各種発電サイ

クルにおける燃焼温度及び圧力比の最適な設計条件を基準に、共通要素ごとに適した燃焼温度及び圧力比の少なくとも一方の値（パラメータの値）を設定する。

### 【0030】

圧縮機3の翼型を含むガスパス形状は、最も圧力比が高い条件で設計すれば各種発電サイクルに適合させることが容易である。そこで、本実施例では、圧力比の高いシンプルサイクルの設計条件で設計している。そのため、コンバインドサイクルや湿分利用ガスタービンサイクルにする場合には、圧力比を低く設定すれば済むため、そのまま、あるいはわずかな改良で対応可能である。

### 【0031】

圧縮機3のロータは、圧縮機3から排出される圧縮空気の温度が高くなり、圧縮機ロータ温度も高くなる。したがって、圧縮機ロータに作用する熱応力も大きくなるシンプルサイクル（高圧力比）の条件で設計している。コンバインドサイクルや湿分利用ガスタービンサイクルにする場合は圧力比が低いため、構造はそのまま適合できる。

### 【0032】

タービン9の翼型は、圧力比が高い条件で設計することが望ましい。翼形状の損失が大きくなると、タービン9から排出される排出ガスの温度が高くなり、発電効率も低下するためである。本実施例では、タービン9の翼型を含むガスパス形状は、圧力比の高いシンプルサイクルの条件で設計している。このようにシンプルサイクルで設計しているため、コンバインドサイクルや湿分利用ガスタービンサイクルに適合させる場合には翼の損失が増加するが、その分タービンから排出される排出ガスの温度が高くなる。よって、蒸気タービン出力や圧縮空気への蒸気含有量が増加して、発電サイクル全体としての発電効率低下は抑制される。

### 【0033】

タービンロータは、燃焼ガス8の温度が高く、タービン動翼を冷却する空気の温度が低い、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルの条件で設計する。本実施例では、タービンロータの半径方向の温度差が大きく、熱応力も大きい条件下でタービンロータを設計している。そのため、燃焼ガス8の温度が低いシンプルサイクルに変更する場合には、構造はそのまま適用できる。

### 【0034】

ケーシングは、高圧力比で設計する。圧縮機側もタービン側も圧縮空気にさらされるため、圧力比の高いシンプルサイクルの条件で設計することが望ましい。このように設計することで、コンバインドサイクルや湿分利用ガスタービンサイクル（低圧力比）に変更する場合には、圧縮機側では構造はそのまま適用できる。しかし、タービン側では燃焼温度が増加するため、これに対応した変更が必要である。

### 【0035】

以上のように、各種発電サイクルにおける燃焼温度及び圧力比の最適な設計条件を基準に、それぞれの共通要素に適した燃焼温度及び圧力比の少なくとも一方の値（パラメータの値）を設定した結果が、図5である。そして、設定されたパラメータの値より、事前にガスタービンの共通要素を設計しておくことが可能である。

### 【0036】

シンプルサイクルに、手順2において設計された共通要素を適合させるようガスタービンを設計する手順3-Aについて説明する。図5を参照すると、共通要素の中でタービンロータのみが、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルに基づいた燃焼温度の設定値となっている。しかし、タービンロータは燃焼温度を1450℃という条件で設計しているため、シンプルサイクルに適合させる場合、ガスタービンの発電サイクルにおけるタービンロータの燃焼温度が低下するだけである。したがって、タービンロータを新しく設計しなおす必要はない。図6は、事前に設計された共通要素のパラメータの設定値と、シンプルサイクルにおける共通要素のパラメータの値とを比較したものである。図6において、手順2の時に設計された各共通要素の燃焼温度や圧力比（パラメータの値）を分母に示す。また、分子には、シンプルサイクルにおける共通要素の燃焼温度や圧力比（パラメータの値）を示す。

### 【0037】

コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルに、手順2において設計された共通要素を適合させるようガスタービンを設計する手順3-Bについ

て説明する。図5を参照すると、圧縮機翼型とそのロータ、タービン翼型、ケーシングが、シンプルサイクルに最適な燃焼温度や圧力比で設計されている。この中で、圧縮機翼型とそのロータは、圧力比を2.3に設定しているため、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクル（圧力比2.0）にそのまま利用可能である。しかし、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルで設計するときの燃焼温度は1450°Cであるため、手順2において燃焼温度1250°Cで設計されたタービン翼型やケーシングは、許容の燃焼温度を超えている。そのため、タービン翼型やケーシングを、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルに適合化するには、補助設計事項の変更が必要である。補助設計事項とは、例えばタービン翼型に関連する場合、燃焼温度や圧力比の変化に応じて冷却空気温度が変わるために、タービン9の動翼に供給する冷却空気量を変化させたり、タービン後段側の冷却の有無、翼面に施工する熱遮蔽コーティングTBCの有無、材質切替といった設計個所を表す。即ち、補助設計事項は、共通要素を異なる発電サイクル間で適合させるようガスタービンを設計するために、設計・変更を行う設計個所である。図7は、図6と同様に事前に設計された共通要素のパラメータの設定値と、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルにおける共通要素のパラメータの値とを比較したものである。

### 【0038】

このように、手順3-A、3-Bで設計したガスタービンは、設計要素の中から共通要素を設計するという工程を経ているため、ガスタービンの所望の発電サイクルにおける燃焼温度及び圧力比と、共通要素を設計した時に利用した燃焼温度及び圧力比の少なくとも一方とが異なる共通要素を有することになる。しかし、例えば手順2においてシンプルサイクルで設計された共通要素を、次の工程でコンバインドサイクルや湿分利用ガスタービンサイクルに適合させるようガスタービンを設計するときは、共通要素に関しては補助設計事項の変更に留めておくことが可能である。

### 【0039】

したがって、手順2において事前にガスタービンの共通要素を設計しておくことで、シンプルサイクルを設計する場合（手順3-A）にしても、コンバインド

サイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルを設計する場合（手順3-B）にしても、共通要素に関しては補助設計事項の設計というわずかな変更に留めて、共通要素以外の設計要素を設計することに注力すればよい。したがって、一からガスタービンを設計する場合に比べ、ガスタービンの設計費用を抑制することが可能である。また、ガスタービンの設計にかかる時間を短縮することも可能である。更に、一つのガスタービンサイクルに特化していないので、市場の変化に柔軟に対応でき、開発リスクを分散できる効果がある。

#### 【0040】

次に、設計要素の中から共通要素を設計するという工程を経て設計された手順3-A又は3-Bのガスタービンを、手順3-A又は3-Bと異なる発電サイクルへ設計変更する場合の変更容易性について、以下に説明する。

#### 【0041】

手順2に基づいて設計されたシンプルサイクルガスタービンに含まれる共通要素を、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルへ適合させるようガスタービンを設計変更する時の補助設計事項の変更部分について説明する。

#### 【0042】

圧縮機における変更個所は、ガスタービンを実際に稼動するときの圧力比が低下するため、圧縮機段数の減少、圧力比が低下し圧縮空気温度が低下することによる圧縮機翼、ロータ、及びケーシングの材質切替等が考えられる。しかし、手順2において、圧縮機翼型とそのロータ、及びケーシングは圧力比を2.3で設計しているため、圧縮機の設計変更は比較的容易である。

#### 【0043】

タービンにおける変更個所は、ガスタービンを実際に稼動するときの燃焼温度が変化することと、圧力比変化に応じてタービン高温部を冷却するための空気温度が変化することによる、冷却空気量の増減、タービン後段側の冷却の有無、翼面に施工する熱遮蔽コーティングTBCの有無、材質切替等が考えられる。特にタービン翼型は精密鋳造で製作するため、翼を単結晶、一方向凝固、多結晶翼のいずれで製造するかを選択する必要がある。手順2ではタービン翼型の燃焼温度を1250°Cとして設計しているため、ガスタービンをコンバインドサイクル

及び湿分利用ガスタービンサイクルで実際に稼動すると、燃焼温度の許容値を超えててしまう。そこで、高温強度に優れた単結晶翼を使用することが考えられる。

#### 【0044】

燃焼器における変更個所では、燃焼温度と圧力比の変化に応じて圧縮空気（ガスタービンに供給する冷却空気）の温度が変化するため、乱流促進リブの有無及び材質切替等が考えられる。

#### 【0045】

手順2に基づいて設計されたコンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルに含まれる共通要素を、シンプルサイクルへ適合させるようガスタービンを設計変更する時の補助設計事項の変更部分について説明する。

#### 【0046】

圧縮機における変更個所は、ガスタービンを実際に稼動するときの圧力比が上昇するため、圧縮機段数の増加、圧力比が上昇し圧縮空気温度が上昇することによる圧縮機翼、ロータ、及びケーシングの材質切替等が考えられる。しかし、手順2において、圧縮機翼型とそのロータ、及びケーシングは圧力比を23で設計しているため、圧縮機の設計変更は比較的容易である。

#### 【0047】

タービンにおける変更個所は、タービン翼型とケーシングが、手順2で設計された時の燃焼温度（1250℃）よりも高い温度（1450℃）でガスタービンを運用していたため、それに耐えるような補助設計事項の変更がなされていた。しかし、シンプルサイクルへの変更によってガスタービンを稼動するときの燃焼温度が低下するため、1450℃という燃焼温度に耐えるような補助設計事項の変更をする必要がなくなる。したがって、高温強度は低いが低コストの多結晶翼を使用することも考えられる。また、タービン翼型は、手順2においてシンプルサイクルに適した圧力比で設計されているため、変更は容易に行える。タービンロータは、ガスタービンを稼動するときの燃焼温度が低下するため、変更する必要はない。これらの変更のほかにも、圧力比変化に応じて冷却空気温度が変わることによる冷却空気量の増減、タービン後段側の冷却の有無、翼面に施工する熱遮蔽コーティングTBCの有無、材質切替等が考えられる。また、燃焼温度が低

くなりかつ圧力比が高くなるので燃焼器から排出される燃焼ガス温度も低くなる。そこで、タービン9の第3段動翼12を無冷却にすることも考えられる。

#### 【0048】

燃焼器における変更個所は、燃焼温度と圧力比の変化に応じて圧縮空気（ガスタービンに供給する冷却空気）の温度が変化するため、乱流促進リブの有無や材質切替等が考えられる。

#### 【0049】

このように、設計要素の中から共通要素を設計するという工程を経て設計されたガスタービンに含まれる共通要素を、所望の発電サイクルへ適合させるようガスタービンを設計変更するとき、共通要素に関連する補助設計事項の変更にとどめておくことが可能である。例えば、圧縮機の場合では、圧縮機段数の増減や圧縮機翼、ロータ、及びケーシングの材質切替等といった圧縮機翼型に関連する補助設計事項を設計変更することで、異なる発電サイクル間で共通要素を適合させるようガスタービンを設計変更することが可能である。

#### 【0050】

したがって、事前に設計された共通要素を元に各種発電サイクルのガスタービンを設計することで、次の工程で更に異なる発電サイクルに変更する場合、わずかな変更のみで短時間にガスタービンを設計変更することが可能である。また、最初から設計しなおす場合に比べ低コストであり、開発リスク分散に効果的である。

#### 【0051】

なお、本実施例におけるビジネス形態として、以下の2通りがある。

#### 【0052】

第一に、ガスタービン製造メーカーが、手順3-A又は手順3-Bで設計されたガスタービンを製造し、最終製品として出荷する場合である。この場合、ガスタービン製造メーカーは顧客の受注に応じて、共通要素を元に各種の発電サイクルガスタービンを設計・製造し（手順3-A又は手順3-B）、納入する。即ち、製造するガスタービンの所望の発電サイクルに、手順2において設計された共通要素を適合させるようガスタービンを設計する。したがって、全ての設計要素

を一から設計する時に比べると、共通要素に関しては補助設計事項の変更というわずかな変更に留めることができ、ガスタービンの設計・製造にかかるコストを抑制することが可能である。また、ガスタービン製造メーカーは一つの発電サイクルに特化していないため、顧客の受注に迅速に対応できるだけでなく、開発リスクを分散できる効果がある。

#### 【0053】

第二に、ガスタービン製造メーカーが手順4-A又は4-Bで設計されたガスタービンを製造し、最終製品として出荷する場合が考えられる。ガスタービン製造メーカーは、手順3-A又は3-Bで既にガスタービンの設計を終了しているため、顧客の受注によって設計する個所は共通要素に関連する補助設計事項の設計変更のみである。したがって、第一の場合に比べ、顧客の受注に更に迅速に対応できるという効果がある。また、ガスタービンの設計・製造にかかるコストを抑制することができる。

#### 【0054】

手順3-A又は手順3-Bで設計し、最終製品として出荷されたガスタービンは、製造されたガスタービンの発電サイクルに共通要素を適合させるよう設計されている。そのため、このガスタービンを製造した時の発電サイクルと異なる発電サイクルに改造する場合も、共通要素に関連する補助設計事項の変更にとどめて、改造するガスタービンの発電サイクルに共通要素を適合させるようガスタービンを設計変更する。したがって、改造されたガスタービンの発電サイクルにおける燃焼温度及び圧力比と、前記共通要素を設計した時に利用した燃焼温度及び圧力比の少なくとも一方とが異なることになる。このように改造した場合、手順3-A又は手順3-Bにおけるガスタービンは顧客によって運転実績を積み上げているため、これをもとにした改造は実績ベースの改造となる。したがって、信頼性が向上するという効果を奏する。また、改造による変更箇所は共通要素に関連する補助設計事項の変更で済むため、ガスタービンの改造費用を抑制することが可能であり、改造にかかる時間も短縮することができる。

#### 【0055】

次に、設計された共通要素を所望の発電サイクルに適合させるようガスタービ

ンを設計する時や、一度設計を終えたガスタービンを異なる発電サイクルに適合させるようガスタービンを設計変更する時の補助設計事項における変更部分について説明する。なお、製造するガスタービンの発電サイクルに共通要素を適合させるよう設計され、最終製品として出荷されたガスタービンを別の発電サイクルに改造する場合にも、以下の補助設計事項の変更を行う。

#### 【0056】

本実施例において、シンプルサイクルを湿分利用ガスタービンサイクルに設計変更する場合の圧縮機における変更個所を図8に示す。変更個所は圧縮機前側ロータ50の外周に設置していた翼を削除している点である。湿分利用ガスタービンサイクルでは、タービンを通過する燃焼ガスの質量流量が圧縮機から排出される圧縮空気に蒸気を添加している分だけ増加傾向になる。圧力比は下げたいにも関わらず、タービン入口における燃焼ガスの質量流量が増加すると圧縮機の圧力比が増加してしまう。したがって、圧縮機が吸い込む大気空気2の量を少なくすることが効果的である。そこで本実施例では、圧縮機が吸い込む大気空気2の量を減少させるために、圧縮機前側ロータ50の外周に設置していた翼を削除している。よって、圧力比を低下させ、発電効率の向上を狙っている。

#### 【0057】

また、シンプルサイクルをコンバインドサイクルに変更するときの圧縮機における変更個所を図9に示す。変更個所は圧縮機後側ロータ51の外周に設置していた翼を削除している点である。コンバインドサイクルで用いるガスタービンは、圧縮機が吸い込む大気空気2の量を変化させる必要はないが、圧力比を低下させることが望ましい。そのためには、圧縮機後側段の翼を削除することが効果的である。

#### 【0058】

圧縮機翼は、手順2において、圧力比23で設計されている。そのため、図8、図9に示したように圧縮機翼の翼数を調整するだけで対応可能であり、他の部分は変更しないため、簡単にかつ迅速に対応でき、低コスト化可能という効果を奏する。また、開発の低リスク化にも寄与する。

#### 【0059】

逆に湿分利用ガスタービンサイクルやコンバインドサイクルをシンプルサイクルに変更する場合、変更時に圧縮機翼を増加させることで対応できる。圧縮機翼は手順2において、圧力比2.3で設計されているため、ガスタービンを実際に稼動するときの圧力比を上昇させても、対応可能だからである。

### 【0060】

本実施例において、タービン動翼の変更個所を以下に説明する。

### 【0061】

図10は、手順2で共通要素を設計した時のタービン動翼の動翼断面図（シンプルサイクル）である。ロータを通して供給された冷却空気60は冷却空気流量調節用のオリフィス61, 62を通って翼内に供給される。翼内部の冷却通路には熱伝達率を高めて冷却を強化するための乱流促進リブ63やピンフィン64を設けている。オリフィス61を通過した冷却空気は2回Uターンして動翼外周65から噴出する。オリフィス62を通過した冷却空気は1回Uターンしてピンフィン64を通過後に後縁66から噴出する。

### 【0062】

前述のように、手順2で共通要素を設計した時のタービン動翼は、燃焼温度1250℃で設計されている。そのため、手順4-Aへの変更では、ガスタービンを稼動するときの燃焼温度が1450℃になるため、この燃焼温度に耐えるための改造が必要である。図11, 図12, 図13は、図10のシンプルサイクルのタービン動翼をコンバインドサイクルや湿分利用ガスタービンサイクルに変更した一例を示す。図11で変更した個所は、翼部の表面に熱遮蔽コーティングTBC70を施している点である。燃焼温度は上昇するが、TBC70を施工することによりTBC70の内側にあるメタル温度の上昇を抑制することが可能である。図12では、翼全縁部にフィルム冷却孔80を設けている。翼の前縁部における外側は熱伝達率が高く、メタルが高温になりやすい。フィルム冷却孔80を設けることにより、翼表面に冷却空気の層を生成し燃焼ガスが直接翼表面に接触しにくくなる効果がある。図11, 図12の方法を用いると、燃焼ガスと冷却空気の温度差によるメタルの温度勾配を小さくすることが可能である。よって、翼に発生する熱応力を抑制することができ信頼性が向上する。また、静翼に対し

てもTBC70を施工したりフィルム冷却孔を設けたりすると、動翼と同様の効果が得られる。図13では、オリフィス61, 62の流路孔径d1, d2を大きくして冷却空気量を増加させている。冷却空気量が増加することにより、冷却流路側の熱伝達率を上げて翼メタル温度の上昇を抑制することが可能である。また、オリフィス61, 62は動翼と別部材で構成できるので、オリフィス孔径d1, d2の加工はオリフィス単独で容易に実施できる。もし仮にd1, d2の加工に失敗してもオリフィス61, 62だけを作り直せばよく、翼全部を無駄にすることはない。さらに、図11, 図12, 図13の実施を組合せることにより、冷却強化の相乗効果が得られる。湿分利用ガスタービンサイクルやコンバインドサイクルをシンプルサイクルに変更する場合は、TBC70の施工を取りやめたり、フィルム孔の加工を取りやめたり、オリフィスの孔径を小さくすることで高効率、高信頼性、低コストに対応できる。

#### 【0063】

図14に図2で示した第1段静翼15を示す。第1段静翼15は、燃焼器車室に充満している圧縮機より排出された圧縮空気の一部が、冷却空気16として第1段静翼15の内側と外側から供給される。外側の額縁90にはプレート92が取り付けられており、プレート92に設けた複数の孔93を通して冷却空気16が第1段静翼15に供給される。同様に内側の額縁91にもプレート94が取り付けられており、プレート94に設けた複数の孔95を通して、冷却空気16が第1段静翼15に供給される。

#### 【0064】

シンプルサイクルからコンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルに変更する場合、ガスタービンが稼動するときの燃焼温度が上昇する。したがって、冷却空気16の流量を増加させる必要があるので、孔93, 95の数量を増やしたり孔径を大きくしたりすることで対応できる。なお、プレート92, 94は額縁90, 91と別部材にしているので、プレート92, 94単独で容易に加工ができる。もし仮に孔93, 95の加工に失敗してもプレート92, 94だけを作り直せばよく、翼全部を無駄にすることはない。コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルからシンプルサイクルに変更する場合は前記

とは逆に、孔93, 95の数量を少なくしたり孔径を小さくしたりすることで対応できる。また、その他の静翼についても額縁に孔付プレートを設けて冷却する構造は採用可能であるため、本実施例記載の方法で冷却空気量を調節できる。

### 【0065】

図15に、図2におけるホイールスペース27, 28への空気導入経路、第1段シラウド21、第2段シラウド23への冷却空気の流路を示す。ホイールスペース27, 28への空気は配管20から供給され、第2段静翼17を通過してダイアフラム100のキャビティに導かれる。キャビティに導かれた空気はダイアフラムの第1段動翼側に設けた孔101を通ってホイールスペース27に供給され、主流ガス中に放出される。ホイールスペース27に供給された空気の一部はダイアフラム100の内側を通過してホイールスペース28に供給され、主流ガス中に放出される。第1段シラウド21は、燃焼器車室に充満した圧縮空気の一部22をシラウド前側に設けた孔102、主流ガス側に面した冷却孔103に供給することによりシラウドを冷却し、冷却後は主流ガス中に放出する。第2段シラウド23は、図2に示す配管20から供給された空気の一部をシラウド前側に設けた孔104、主流ガス側に面した冷却孔105に供給することによりシラウドを冷却し、冷却後は主流ガス中に放出する。

### 【0066】

シンプルサイクルからコンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルに変更する場合、燃焼温度が上昇するため、ホイールスペース27, 28に供給する空気流量を増加させたり、シラウド冷却空気量を増加させたりする必要がある。そこで、孔101, 102, 103, 104, 105の数量を増やしたり孔径を大きくすることにより対応できる。コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルからシンプルサイクルに変更する場合は、前記とは逆に、孔101, 102, 103, 104, 105の数量を少なくしたり孔径を小さくすることで対応できる。

### 【0067】

ケーシング冷却系統のその他の実施例を図16に示す。図16では、圧縮機中間段からの抽気配管20, 34上にオリフィス111, 112, 113を設けて

いる。配管20, 34からの空気は、第2段静翼17, 第3段静翼18, 第2段シュラウド23, 第3段シュラウド24、及びホールスペース27, 28, 29, 30, 31, 32を冷却するために供給されている。シンプルサイクルからコンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルに変更する場合、ガスタービンを稼動するときの燃焼温度が上昇するため、静翼、シュラウド、ホールスペースへの必要空気量は増加する。そこで、配管上に設けたオリフィス111, 112, 113の孔径を大きくすることで対応可能である。また、逆にコンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルからシンプルサイクルに変更する場合、オリフィス111, 112, 113の孔径を小さくすることで対応できる。ケーシングより外部の配管上で空気流量を調整するので、実施が容易である。また、ガスタービンの運用開始後にシンプルサイクルとコンバインドサイクルの運転を切り替える場合でも、ガスタービン本体を分解することなく空気量を調節できる。さらに、オリフィス111, 112, 113の代わりにバルブを設置することによっても同様の効果を奏する。

#### 【0068】

図17に図2で示した燃焼器の空気流れを示す。フロースリーブ5が2重管構造になっており、2重管の内側を燃焼ガス8が通り、それを包み込むように外側を燃焼用空気14が通過する。フロースリーブ5における内側の筒に乱流促進リブ120を設けたり、冷却孔121をあけて燃焼用空気14を一部漏らしたりして内側の筒を冷却している。シンプルサイクルをコンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルに変更する場合、ガスタービンが稼動するときの燃焼温度が上昇するため、乱流促進リブ120, 孔121の数量を増やすことで内側の筒の温度上昇を抑制することが可能である。また逆に、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルをシンプルサイクルに変更する場合、乱流促進リブ120の数量を減らしたり、場合によっては乱流促進リブ120をなくすことも可能である。また、孔121の数量を減らすことで、冷却空気量を削減できる。

#### 【0069】

#### 【発明の効果】

本発明によれば、ガスタービンの製造費用を抑制し、製造にかかる時間を短縮することが可能である。

**【図面の簡単な説明】**

**【図 1】**

シンプルサイクル、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルにおける設計方法及び改造方法を表した図。

**【図 2】**

ガスタービン本体の構成図。

**【図 3】**

コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルにおける発電出力と発電効率の特性を表した図。

**【図 4】**

シンプルサイクルにおける発電出力と発電効率の特性を表した図。

**【図 5】**

共通要素に適した燃焼温度及び圧力比の少なくとも一方の値を設定した時の表

。

**【図 6】**

事前に設計された共通要素のパラメータの設定値と、シンプルサイクルにおける共通要素のパラメータの値とを比較した表。

**【図 7】**

事前に設計された共通要素のパラメータの設定値と、コンバインドサイクル及び湿分利用ガスタービンサイクルにおける共通要素のパラメータの値とを比較した表。

**【図 8】**

圧縮機前側ロータ50の外周翼を削除した場合の図。

**【図 9】**

圧縮機後側ロータ51の外周翼を削除した場合の図。

**【図 10】**

シンプルサイクルにおけるタービン動翼断面を表した図。

**【図11】**

タービン動翼に熱遮蔽コーティングを施した時の図。

**【図12】**

タービン動翼にフィルム冷却孔を設けた時の図。

**【図13】**

タービン動翼のオリフィス冷却孔径を変更した場合の図。

**【図14】**

タービンの第1段静翼を表した図。

**【図15】**

ホールスペース27, 28, 第1段シュラウド21, 第2段シュラウド23への冷却空気流路を表した図。

**【図16】**

ケーシングの冷却系統を表した図。

**【図17】**

燃焼器中の空気流路を表した図。

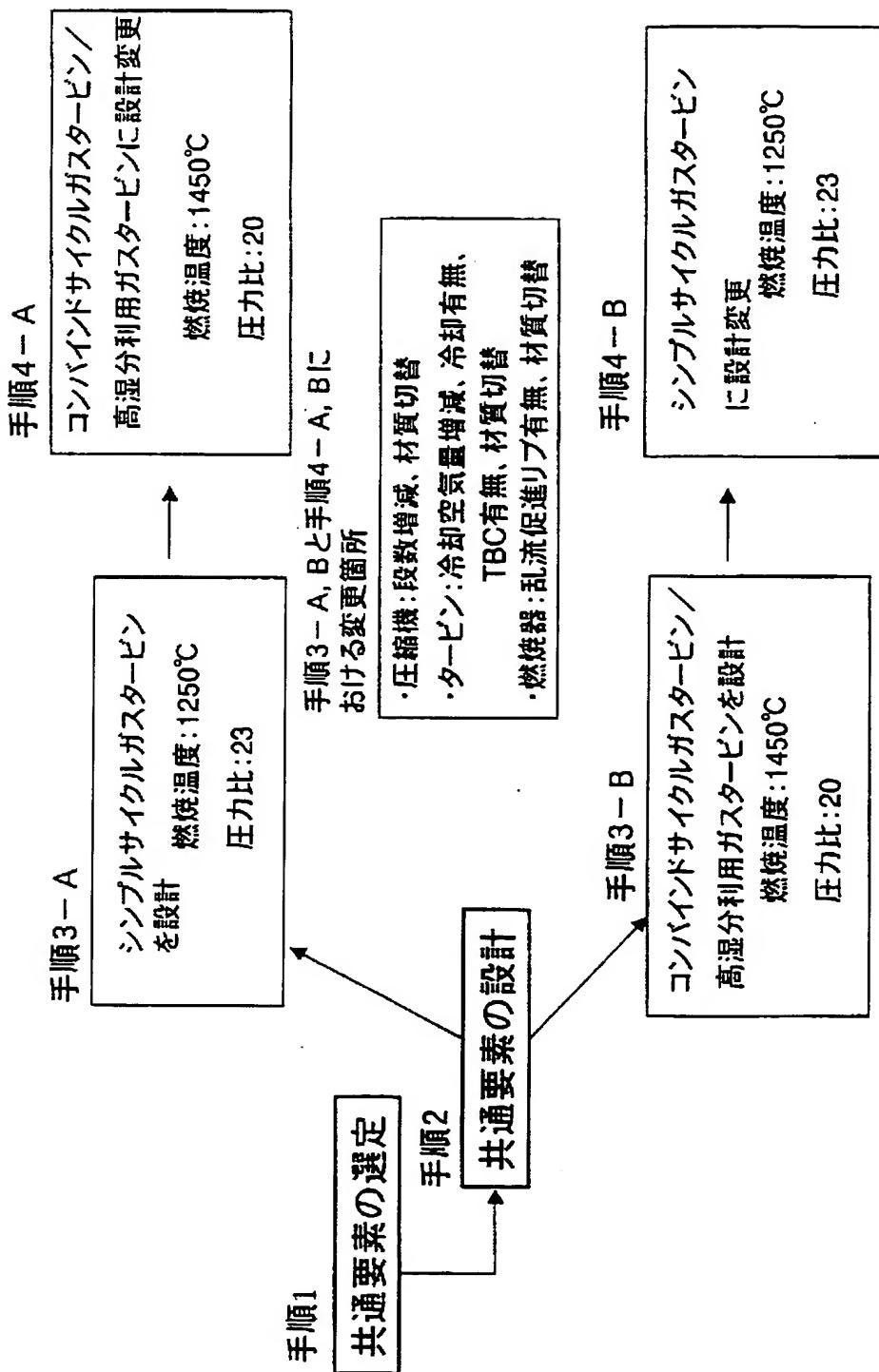
**【符号の説明】**

2…大気空気、3…圧縮機、4…燃焼器車室、5…フロースリーブ、6…燃焼器、8…燃焼ガス、9…タービン、10…第1段動翼、11…第2段動翼、12…第3段動翼、15…第1段静翼、17…第2段静翼、18…第3段静翼。

【書類名】 図面

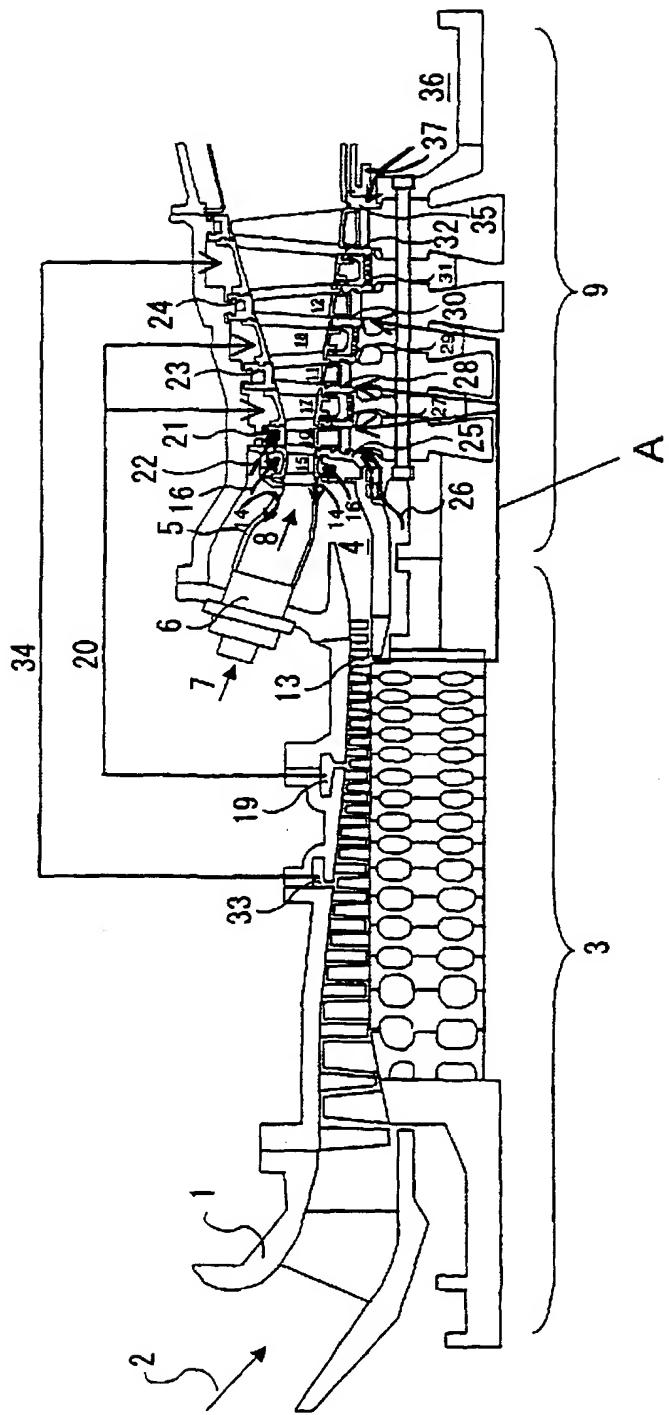
【図1】

図 1



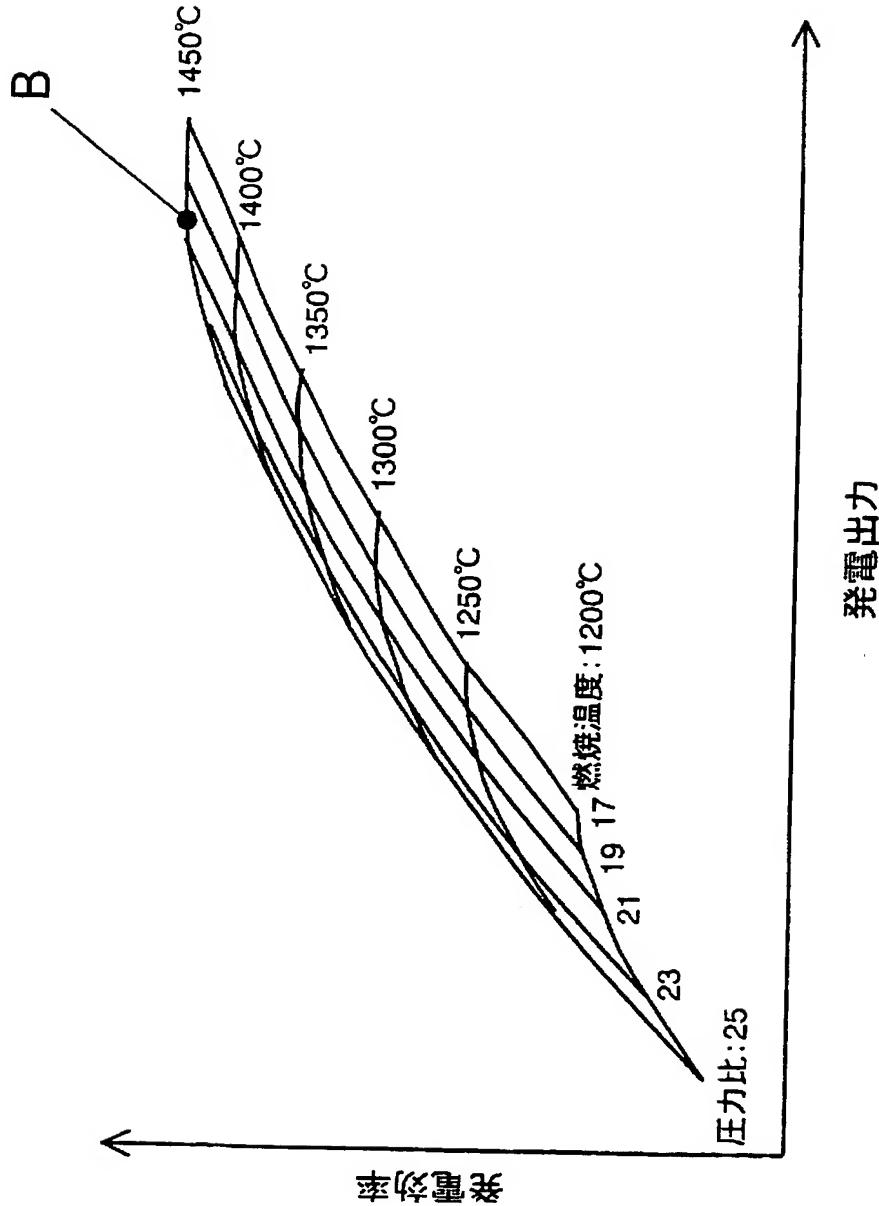
【図 2】

図 2



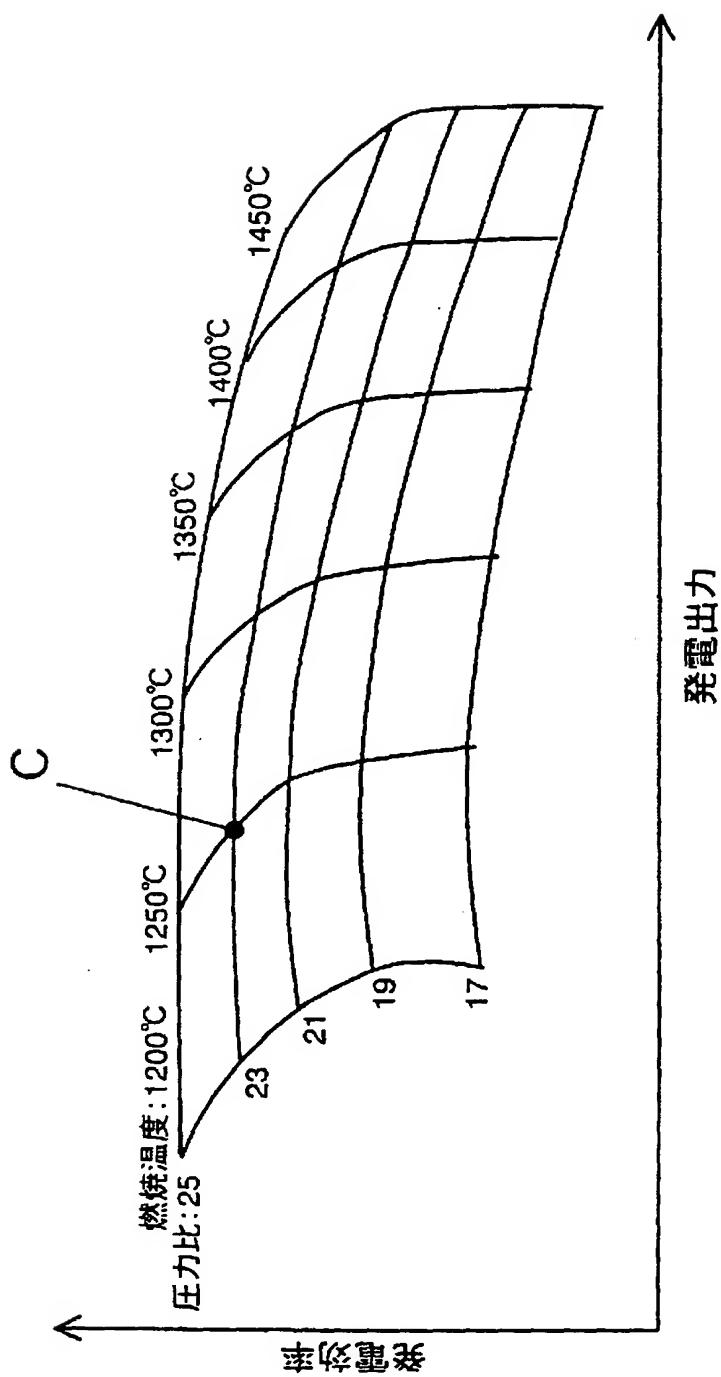
【図3】

図 3



【図4】

図 4



【図5】

図 5

	燃焼温度(°C)	圧力比	サイクル
圧縮機翼型	—	23	シンプル
圧縮機ロータ	—	23	シンプル
タービン翼型	1250	23	シンプル
タービンロータ	1450	—	コンバインド／湿分利用 ガスタービンサイクル
ケーシング	1250	23	シンプル

【図6】

図 6

	燃焼温度(°C)	圧力比
圧縮機翼型	—	23/23
圧縮機ロータ	—	23/23
タービン翼型	1250/1250	23/23
タービンロータ	1250/1450	—
ケーシング	1250/1250	23/23

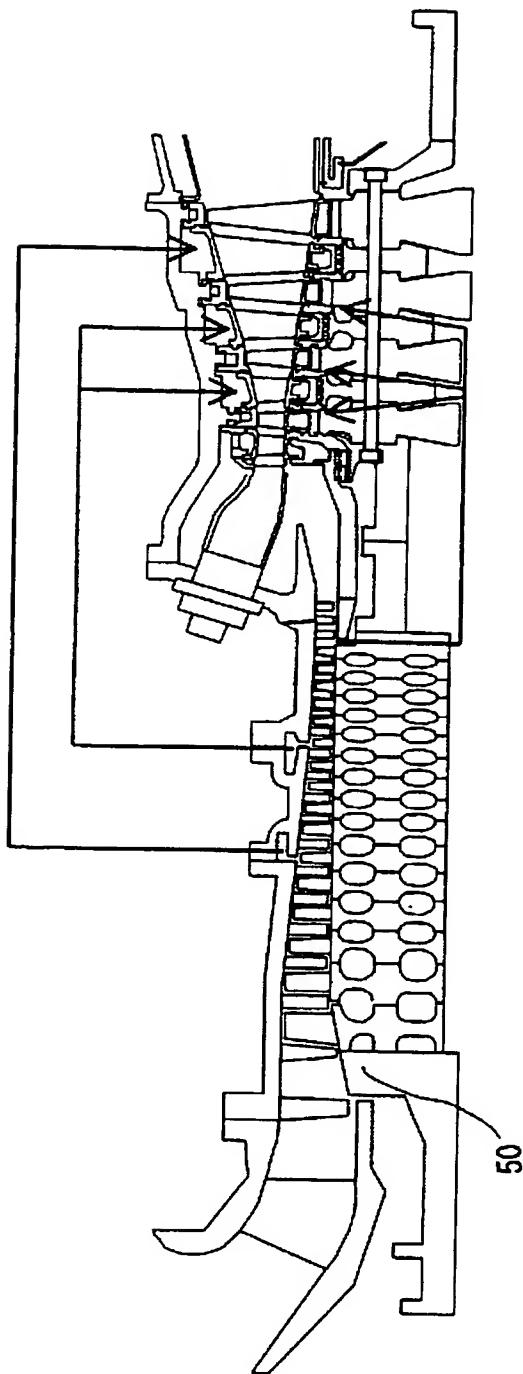
【図 7】

図 7

	燃焼温度(℃)	圧力比
圧縮機翼型	—	20/23
圧縮機ロータ	—	20/23
タービン翼型	1450/1250	20/23
タービンロータ	1450/1450	—
ケーシング	1450/1250	20/23

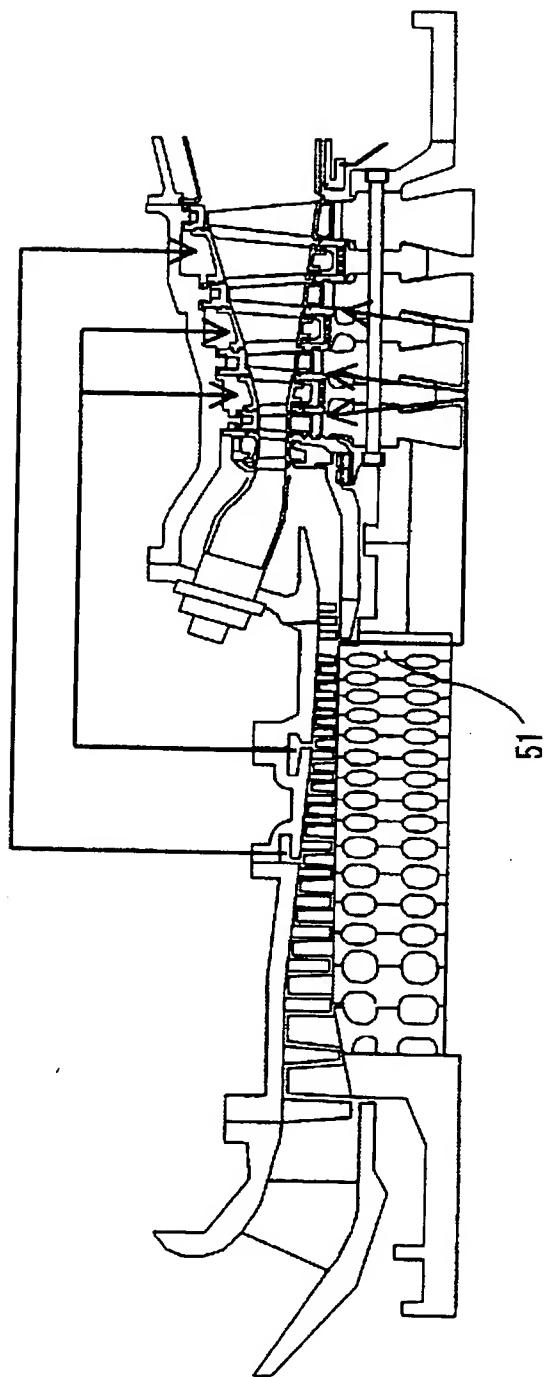
【図 8】

図 8



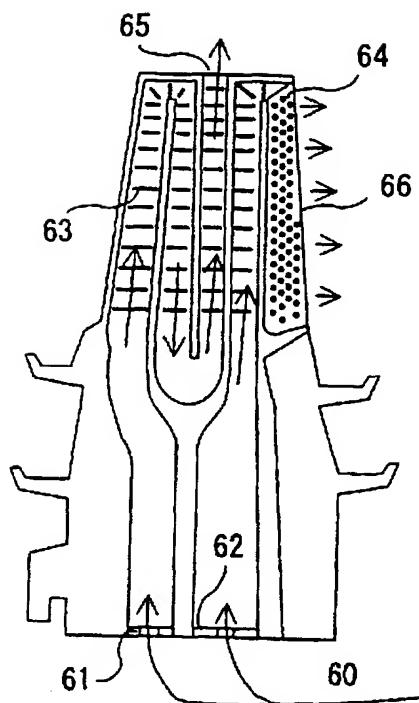
【図9】

図 9



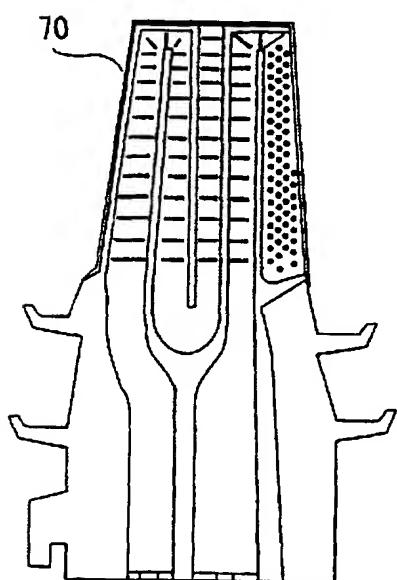
【図10】

図 10



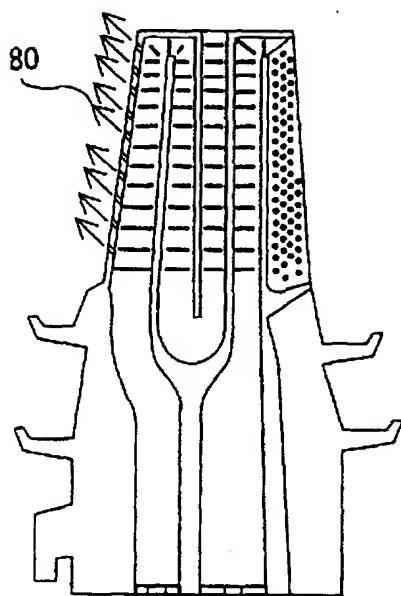
【図11】

図 11



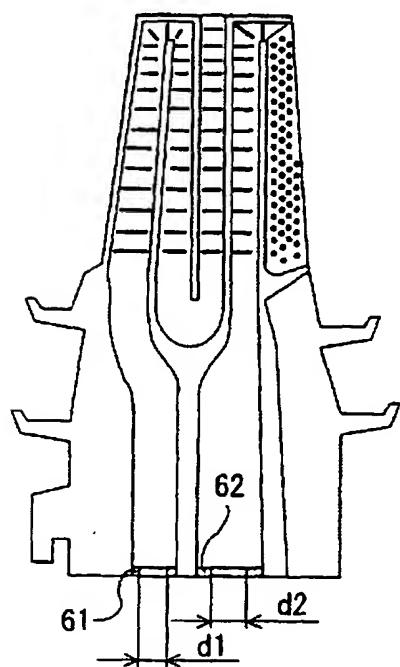
【図12】

図 12



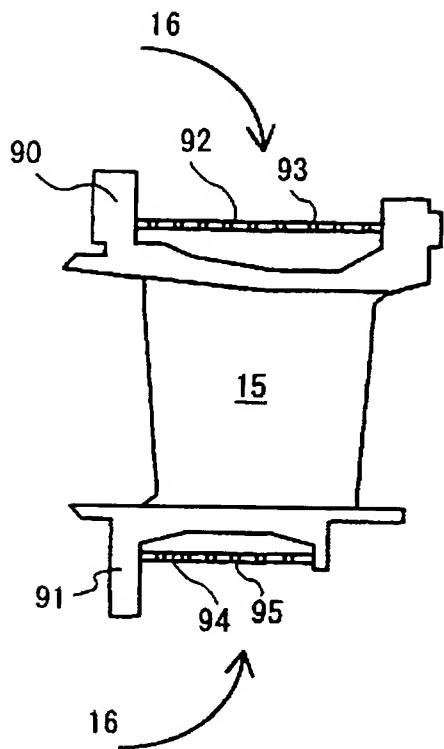
【図13】

図 13



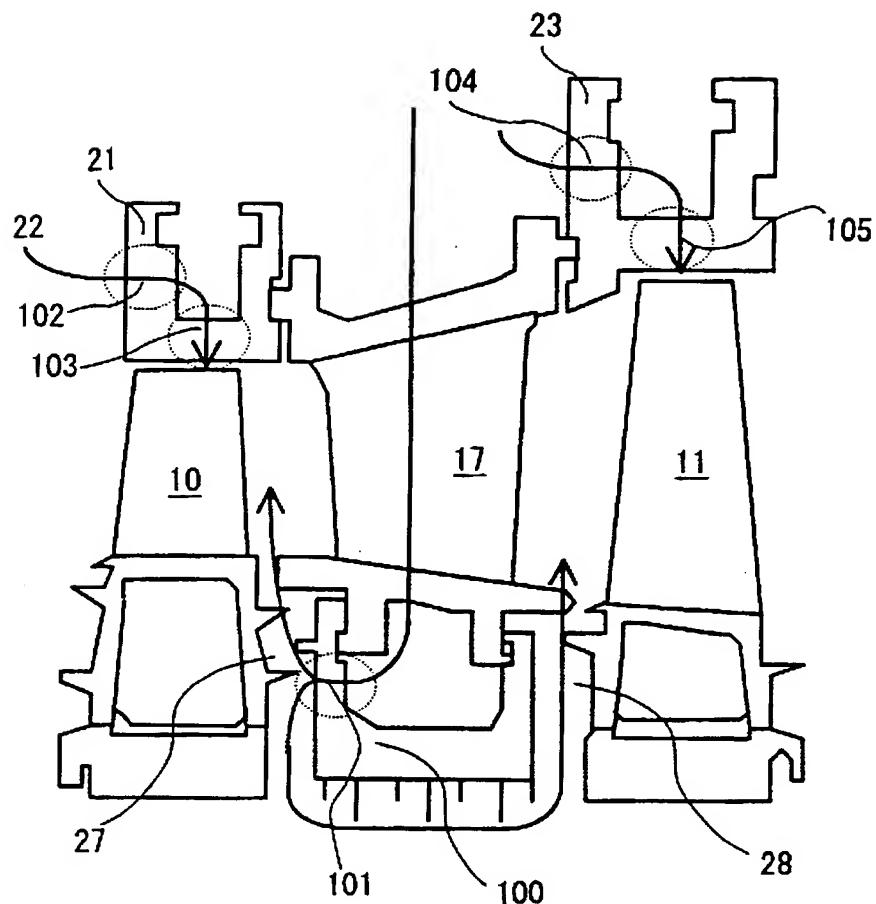
【図14】

図 14



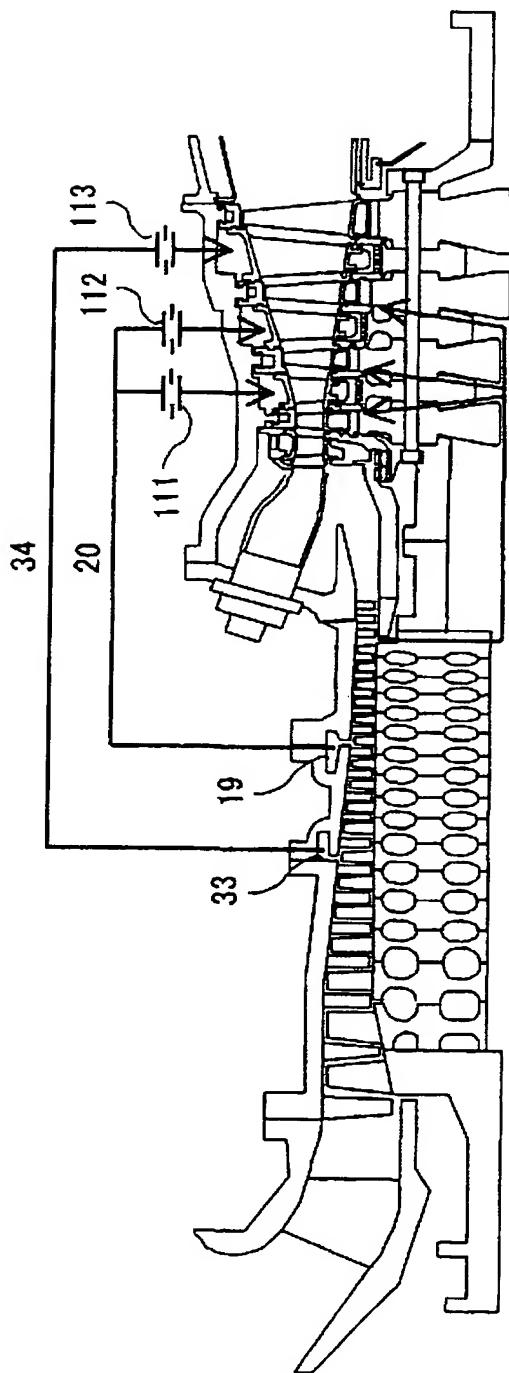
【図15】

図 15



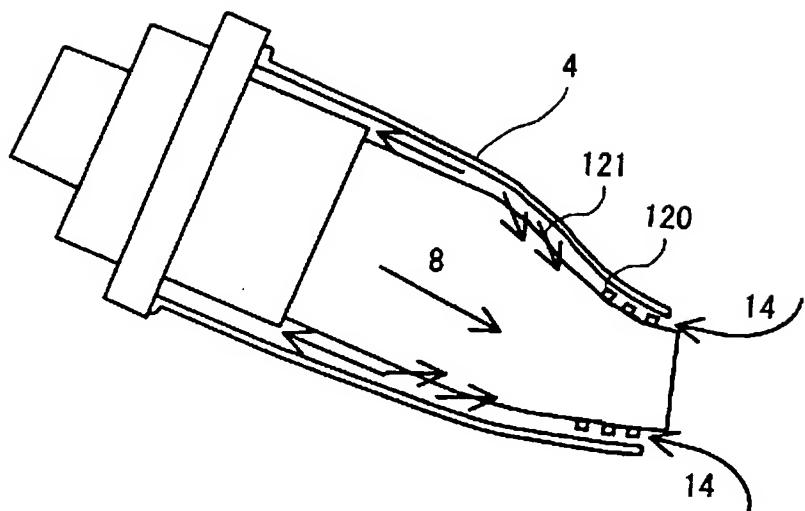
【図 16】

図 16



【図17】

図 17



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

ガスタービンの各種サイクルは、発電出力と発電効率の特性が異なっている。そのため、例えば、シンプルサイクルに使用するガスタービンをコンバインドサイクルや湿分利用サイクルに転用すると、それほど高効率が得られないという問題があった。

【解決手段】

本発明は、大気空気を圧縮し圧縮空気を生成する圧縮機と、該圧縮空気と燃料とを混合燃焼させ燃焼ガスを生成する燃焼器と、該燃焼ガスにより駆動するタービンとを備え、該圧縮機、該燃焼器、及び該タービンを設計する際に必要な複数の設計要素で構成されるガスタービンの製造方法であって、前記ガスタービンの設計要素の中から各種発電サイクルに共通して用いる共通要素を設計し、製造するガスタービンの発電サイクルに前記共通要素を適合させるようガスタービンを設計することを特徴とする。

【選択図】 図1

## 認定・付加情報

特許出願の番号 特願2003-153681  
受付番号 50300899591  
書類名 特許願  
担当官 第三担当上席 0092  
作成日 平成15年 6月 2日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

【提出日】 平成15年 5月30日

次頁無

出証特2003-3056776

特願 2003-153681

出願人履歴情報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日  
[変更理由] 新規登録  
住所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地  
氏名 株式会社日立製作所

J